

# **Sveučilište Sjever**

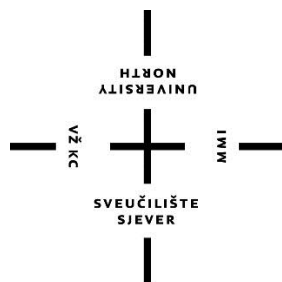
**Završni rad br. 299/GR/2017**

## **Karakteristike pasivne kuće**

**Antun Šimek, 5684/601**

Varaždin, rujan 2017. godine





# **Sveučilište Sjever**

**Odjel za graditeljstvo**

**Završni rad br. 299/GR/2017**

## **Karakteristike pasivne kuće**

**Student**

Antun Šimek, 5684/601

**Mentor**

Željko Kos, struč.spec.ing.aedif

Varaždin, rujan 2017. godine



# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Antun Šimek	MATIČNI BROJ	5684/601
DATUM	21. 08. 2017.	KOLEGIJ	Zgradarstvo II
NASLOV RADA	Karakteristike pasivne kuće		
MENTOR	Željko Kos, struč.spec.ing.aedif.	ZVANJE	Predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof. dr.sc. Božo Soldo		
	2. Željko Kos, predavač		
	3. dr.sc. Matija Orešković, viši predavač		
	4. dr. sc. Aleksej Aniskin, viši predavač		
	5.		

## Zadatak završnog rada

BROJ	299/GR/2017
OPIS	<p>Pristupnik u radu treba izložiti tehnički standard pasivne kuće, njegove karakteristike i svojstva pasivne kuće u odnosu na standard zgrade gotovo nulte energije.</p> <p>Detaljno opisati karakteristike i izložiti detalje izvedbe pasivne kuće s naročitim osvrtom na utjecaje na potrošnju energije. Iznijeti situaciju s pasivnim kućama u Hrvatskoj u odnosu na gradnju i certificiranje pasivnih kuća u svijetu.</p> <p>U radu je potrebno obraditi sljedeće teme:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tehnički standard pasivne kuće</li><li>• Zgrade gotovo nulte energije</li><li>• Utjecaji na potrošnju energije pasivne kuće</li><li>• Detalji izvedbe pasivne kuće</li><li>• Pasivne kuće u Hrvatskoj</li><li>• Certificiranje pasivnih kuća u svijetu</li></ul>

ZADATAK URUČEN

18.09.2017.



POTPIS MENTORA

*[Signature]*



## Sažetak

U radu je prikazan tehnički standard pasivne kuće, njegove karakteristike i mogućnost primjene u standardu zgrada gotovo nulte energije. Najveći naglasak stavljen je na svojstva pasivne kuće. Nadalje, u radu su prikazani neki od glavnih utjecaja na potrošnju energije (faktor oblika, orijentacija, toplinska izolacija vanjske ovojnice i dr.), ventilacijski sustav pasivne kuće, korištenje protusmjernog izmjenjivača topline i zemljanog kolektora. Opisana su svojstva i specifičnosti stolarije sa zahtjevima toplinske provodljivosti te karakteristični konstrukcijski detalji dijelova pasivne kuće. Također, u radu je opisana prva pasivna kuća u Hrvatskoj u mjestu Brestovje u blizini Zagreba.

**Ključne riječi:** pasivna kuća, rekuperator, potrošnja energije, zemni kolektor, izvedba pasivne kuće (detalji), tehnički standard pasivne kuće

## Abstract

The paper presents the technical standard of the passive house, its characteristics and the possibility of application in the standard of almost zero energy buildings. The greatest emphasis is placed on the characteristics of the passive house. In addition, some of the major energy consumption factors (shape factor, orientation, thermal insulation of outer shell etc.), ventilation system of the passive house, use of countercurrent heat exchanger and geothermal heat collector are shown in this paper. The properties and specifications of the carpentry with the requirements of thermal conductivity and the characteristic construction details of the passive house parts are described. Also, the first passive house in Croatia is described in Brestovje near Zagreb.

**Keywords:** Passive House, Recuperator, Energy Consumption, Geothermal Collector, Building a Passive House (Details), Technical Standard of Passive House

## Popis korištenih kratica

**TPRUETZZ** Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama

**OIE** Obnovljivi izvori energije

**NN** Narodne novine

**f<sub>0</sub>** Faktor oblika

**nZEB** Nearly zero energy building / zgrada gotovo nulte kategorije

**EU** Europska unija

**PUR** Poliuretanska pjena

**EPS** Ekspandirani polistiren

**XPS** Ekstrudirani polistiren

**HERS** Home Energy Rating Standard



# Sadržaj

<b>1.</b>	<b>Uvod .....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Tehnički standard pasivne kuće .....</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Zgrade gotovo nulte energije .....</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>Utjecaj na potrošnju energije .....</b>	<b>8</b>
4.1.	<i>Faktor oblika zgrade .....</i>	<i>8</i>
4.2.	<i>Orijentacija .....</i>	<i>8</i>
4.3.	<i>Toplinsko izolacijski materijali .....</i>	<i>9</i>
4.3.1.	<i>Visokokvalitetna tvrda poliuretanska pjena (PUR) .....</i>	<i>10</i>
4.3.2.	<i>Kamena vuna .....</i>	<i>10</i>
4.3.3.	<i>Ekspandirani polistiren.....</i>	<i>11</i>
4.3.4.	<i>Ekstrudirani polistiren.....</i>	<i>12</i>
4.3.5.	<i>Celuloza .....</i>	<i>12</i>
4.4.	<i>Ventilacijski sustavi.....</i>	<i>13</i>
4.4.1.	<i>Protusmjerni izmjenjivač topline (rekuperator) .....</i>	<i>14</i>
4.4.2.	<i>Zemljani kolektor .....</i>	<i>15</i>
4.4.3.	<i>Ventilacijski razvod.....</i>	<i>15</i>
4.5.	<i>Zrakonepropusnost (Blower Door test).....</i>	<i>16</i>
4.6.	<i>Građevinski otvori pasivne kuće .....</i>	<i>17</i>
4.6.1.	<i>Prozori za pasivnu kuću.....</i>	<i>17</i>
4.6.2.	<i>Vrata pasivne kuće.....</i>	<i>18</i>
<b>5.</b>	<b>Detalji izvedbe pasivne kuće .....</b>	<b>20</b>
5.1.	<i>Spoj vanjskog masivnog zida i kosog krova .....</i>	<i>20</i>
5.2.	<i>Spoj pregradnog zida i kosog krova.....</i>	<i>21</i>
5.3.	<i>Spoj vanjskog masivnog zida i ravnog krova .....</i>	<i>22</i>
5.4.	<i>Spoj vanjskog masivnog zida i ravnog krova .....</i>	<i>23</i>
5.5.	<i>Spoj prozora s nadprozornikom - masivna konstrukcija.....</i>	<i>23</i>
5.6.	<i>Spoj prozora s prozorskom klupčicom - masivna konstrukcija.....</i>	<i>24</i>
5.7.	<i>Toplinski odvojen balkon, postavljen na potpornim stupovima .....</i>	<i>25</i>
<b>6.</b>	<b>Pasivna kuća u Hrvatskoj .....</b>	<b>26</b>
6.1.	<i>Prva realizirana hrvatska pasivna kuća.....</i>	<i>26</i>
<b>7.</b>	<b>Certificiranje pasivnih kuća u svijetu .....</b>	<b>27</b>

7.1. Sustav certificiranja pasivnih kuća u Hrvatskoj .....	27
7.2. Sustav certificiranja Passivhaus Instituta iz Njemačke.....	27
7.3. Sustav certificiranja Passive House Institute-a US iz SAD-a .....	28
<b>8. Zaključak .....</b>	<b>29</b>
<b>9. Literatura.....</b>	<b>30</b>

# 1. Uvod

Poznato je da su zgrade veliki potrošači energije. U Hrvatskoj zgrade troše 42,3% ukupne energije. Procjene nam govore kako 62% energije otpada na grijanje prostora, 15% na rasvjetna tijela i električne uređaje, 12% na kuhanje te 11% na pripremu tople vode u kućanstvu [1]. Također je poznato da zgrade „emitiraju“ veliku emisiju stakleničkih plinova koji nepovoljno djeluju na ozonski omotač (6,1 milijuna tona CO<sub>2</sub> eq od 14,1 milijuna tona ukupno) [2]. EU je iz tog razloga postavila dugoročni cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova u sektoru zgradarstva od 80% – 95% do 2050. godine. Kako bi se postigao taj cilj nužno je prihvatiti nove standarde gradnje koji će tome doprinijeti [3]. Uvođenjem direktive o energetske svojstvu zgrada Hrvatska je počela primjenjivati zahtjeve koje nalaže EU, a u koje između ostaloga spadaju i „zgrade gotovo nulte energije“<sup>1</sup>. Države članice od Europske unije dobile su definirane principe za nZEB, a na njima je da definiraju standard izračuna. Republika Hrvatska je kao jedanaesta članica EU definirala nZEB standard 2014. godine izmjenama i dopunama *Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* [4]. Budući da su države članice dužne osigurati da od 31. prosinca 2018. sve nove zgrade javne vlasti budu „zgrade gotovo nulte energije“, a nakon 31. prosinca 2020. i sve ostale nove zgrade „zgrade gotovo nulte energije“ [5], u ovom radu autor prikazuje karakteristike i tehnički standard pasivne kuće za koji smatra da će biti korišten kao baza za nZEB u narednim godinama. Opskrbom izgrađene pasivne kuće obnovljivim izvorima, vrlo lako, postićemo traženi standard nZEB-a pa čak i plus energetski standard.

---

<sup>1</sup> Zgrada gotovo nulte energije jest zgrada koja ima vrlo visoka energetska svojstva. Ta gotovo nulta, odnosno vrlo niska količina energije, trebala bi se u vrlo značajnoj mjeri pokrivati energijom iz obnovljivih izvora, uključujući energiju iz obnovljivih izvora koja se proizvodi na zgradi ili u njezinoj blizini [5]

## 2. Tehnički standard pasivne kuće

Pojam *pasivna kuća* je specifični standard gradnje stambenih zgrada koji pruža iznimnu stambenu ugodnost i klimu tijekom zime i ljeta bez potrebe za korištenjem tradicionalnih sustava grijanja i bez aktivnog hlađenja. Osnovna ideja pasivne kuće je svesti potrebnu toplinu za grijanje na što je moguće manju razinu. Popularnije se pasivna kuća naziva i „kućom bez grijanja”. Prema međunarodnom dogovoru koji vrijedi u svim državama, godišnja potrebna toplina za grijanje ne smije biti veća od  $15\text{kWh/m}^2\text{a}$  i može izraziti ekvivalentom od 1 litre loživog ulja. Spomenuta potrebna količina za dogrijavanje prostora zgrade osigurava se izmjenjivačem topline (rekuperator) koji istodobno osigurava i vraćanje topline istrošenog zraka. Takva kuća ima unutarnje izvore topline (čovjek, uređaji koji oslobađaju toplinu, akumulirana toplina u konstrukciji i sl.), uzimajući u obzir zračenja sunčeve energije i korištenje topline (hladnoće) zemlje. Potrebe za primarnom energijom grijanja tople vode, grijanja i hlađenja prostora odnosno pokretanja uređaja u pasivnoj kući ne smiju biti veće od  $120\text{kWh/m}^2\text{a}$ . U primarnoj potrošnji energije zagrijavanje sanitarne potrošne vode i prostora riješeno je pomoću sunčanih kolektora. Da bi se postigao energetska standard pasivne kuće takve zgrade imaju maksimalno spriječen utjecaj toplinskih mostova, iznimnu toplinsku izolaciju vanjske ovojnice i vrlo dobru zrakonepropusnost [6].

Obvezni kriteriji pasivne kuće prema Senegačnik su:

- prolaz topline  $U$  svih građevnih dijelova omotača mora biti manja od  $0.15\text{W/m}^2\text{K}$
- prozori i vrata (troslojna stakla uključujući i okno prozora) ne smiju prekoračiti  $U$ -vrijednost od  $0.80\text{W/m}^2\text{K}$
- izvedba bez toplinskih mostova ( $\psi \leq 0.01\text{ W/m}^2\text{K}$ )
- zrakonepropusnost ne smije prijeći vrijednost od  $n_{50} < 0.6\text{h}^{-1}$
- potrošnja električne energije za pogon rekuperatora  $\leq 0.4\text{W/m}^2\text{K}$  prepumpanoga zraka
- minimalne toplinske gubitke pri pripremi i distribuciji sanitarne vode
- upotreba učinkovitih kućanskih aparata  $[A, A^+]$

Pasivne kuće mogu biti obiteljske kuće, poslovne zgrade, škole, višestambene zgrade, sportske dvorane, crkve, dječji vrtići i proizvodne zgrade [6].

### 3. Zgrade gotovo nulte energije

U Hrvatskoj je zgrada gotovo nulte energije definirana potrošnjom primarne energije za grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu potrošne tople vode i rasvjetu te minimalnim udjelom obnovljivih izvora energije u zadovoljavanju energetske potrebe zgrade. Zahtjeve u primjeni obnovljivih izvora energije zgrade gotovo nulte energije zadovoljavaju ako je barem 30% godišnje primarne energije podmireno iz obnovljivih izvora energije [5].

Definicija zgrade gotovo nulte energije u RH primjenjuje se za nove zgrade izgrađene prema sljedećim namjenama: [2]

- jednoobiteljska zgrada
- višestambena zgrada
- uredska zgrada
- zgrada za obrazovanje
- zgrada za trgovinu (maloprodaja i veleprodaja)
- zgrada hotela i restorana
- zgrada bolnica
- zgrada sportskih dvorana

Trenutno važeći propis koji propisuje uvjete za nove zgrade, a isto tako i za zgrade gotovo nulte energije jest TPRUETZZ (NN 128/15). Tablica propisanih uvjeta iz spomenutog pravilnika dana je u tablici 1.

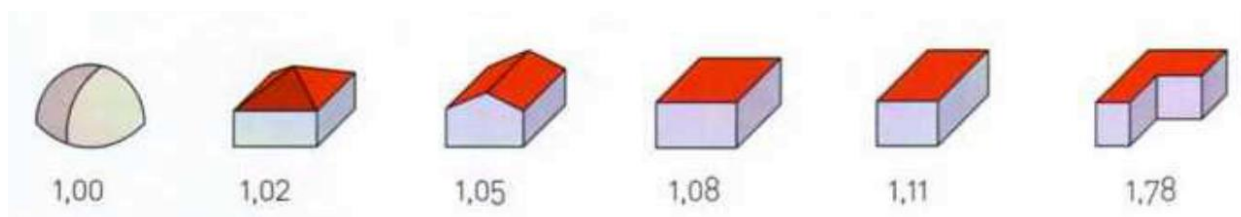
ZAHTEVI ZA NOVE ZGRADE i G0EZ	$Q''_{H,nd}$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]						$E_{prim}$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]				$E_{del}$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	
	NOVA ZGRADA i G0EZ						NOVA		G0EZ		NOVA	
	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3$ °C			primorje, $\theta_{mm} > 3$ °C			kont $\theta_{mm}$ $\leq 3$ °C	prim $\theta_{mm}$ $> 3$ °C	kont $\theta_{mm}$ $\leq 3$ °C	prim $\theta_{mm}$ $> 3$ °C	kont $\theta_{mm}$ $\leq 3$ °C	prim $\theta_{mm}$ $> 3$ °C
KATEGORIJA ZGRADE	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$						
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	120	90	80	50	80	60
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_0$	57,50	115	70	45	35	80	50
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_0$	37,34	70	70	35	25	40	40
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_0$	31,13	65	60	55	55	60	60
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_0$	67,60	300	300	250	250	220	220
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_0$	32,65	130	80	90	70	90	50
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_0$	58,82	400	170	210	150	290	110
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_0$	35,08	450	280	170	150	290	170
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	150	100	/	/	80	60

Tablica 3.1. Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i zgrade gotovo nulte energije zgrade grijane i/ili hlađene na temperaturu 18 °C ili višu [5]

## 4. Utjecaj na potrošnju energije

### 4.1. Faktor oblika zgrade

Faktor oblika zgrade je omjer površine vanjskog oplošja grijanog dijela zgrade i volumena grijanog dijela zgrade. Vanjsko oplošje grijanog dijela zgrade čini ovojnici zgrade (podovi, zidovi prozori, krov i ostali dijelovi koji od vanjskog prostora, tla ili negrijanog dijela razdvajaju grijani dio zgrade) [7]. Faktor oblika  $f_o$  morao bi biti što povoljniji, a to znači da bi bilo poželjno da pasivna kuća ima jednostavan i kompaktan oblik. Povoljan faktor oblika pridonosi znatnom smanjenju transmisijskih gubitaka, ukupnoj uštedi energije i ugodnosti boravka u unutaršnjem prostoru te povoljnoj energetskej bilanci zgrade. Kod projektiranja pasivne građevine preporuča se što manje konzolnih istaka, balkona i razvedenih pročelja kako se ne bi narušila toplinska svojstva ovojnice zgrade. Pasivni standard moguće je postići na razvedenom plaštu zgrade s konzolnim istakama i balkonima, ali naravno uz veću cijenu koštanja. Na slici 1. prikazana je vrijednost faktora oblika za različite oblike građevina [6].

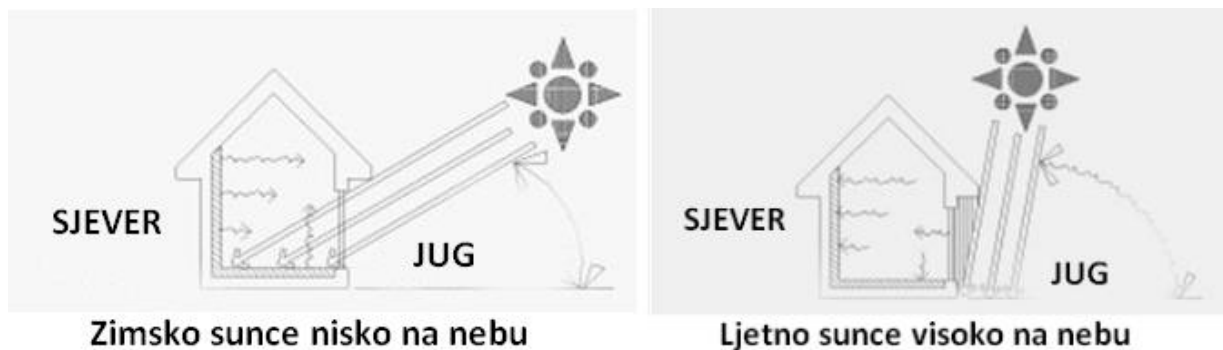


Slika 4.1.1. Odnos faktora oblika s obzirom na oblik građevine

### 4.2. Orijentacija

Prilikom projektiranja pasivne kuće vrlo veliku pozornost treba obratiti na iskorištavanje sunčevog zračenja. Sokrat je još prije 2500 godina shvatio da kuća može biti prijemnik sunčeve energije i da je njen položaj u prirodi vrlo bitan. Poželjno je kuću orijentirati prema južnoj strani, postavljanjem veće površine ostakljenja na južno pročelje građevine, kako bi „ubrali“ najviše sunčevih dobitaka. Uz samu orijentaciju građevine, količina dobitaka ovisi o dnevnom kretanju sunca i godišnjem dobu. Istočna pročelja obasjana su u jutarnjim satima, dok su zapadna izložena suncu u poslijepodnevni satima. Najveća korist od orijentiranja građevine prema jugu je zimi jer tada je obasjavanje na južnom pročelju mnogo intenzivnije nego na istoku i zapadu. Upravo iz tog razloga južna pročelja pasivne građevine uglavnom su projektirana s velikim udjelom staklenih površina. Također se preporuča predvidjeti i sjenila na prozorima. Takvim otvaranjem pročelja

prema jugu može se doprinijeti i do 40% samom grijanju zgrade [6]. Ako je pasivna kuća građena kao katnica standard pasivne kuće može se postići i bez da je objekt dominantno ostakljen prema južnoj strani. Prije svega važno je obratiti pozornost na to da građevinska parcela bude što osunčanija, da nije u kotlini ili na vlažnom močvarnom području.



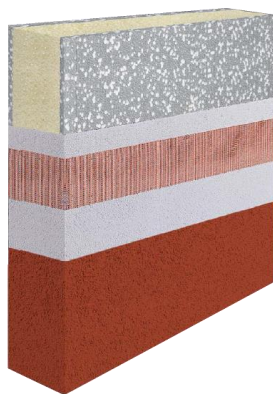
*Slika 4.2.1. Obasjavanje sunca u ljetnim i zimskim danima*

#### *4.3. Toplinsko izolacijski materijali*

Veliki potencijal uštede energije leži u toplinskoj izolaciji vanjskih zidova građevine. Kako bi zadovoljili pasivni standard svi vanjski neprozirni elementi zgrade moraju zadovoljiti koeficijent prolaska topline od minimalno  $0.15\text{W/m}^2\text{K}$ . Pasivna kuća tako od klasične kuće ima deset puta bolju toplinsku izolaciju. Da bi se postigla tako mala vrijednost prolaska topline nužno je spriječiti sve toplinske mostove i pravilno ugraditi odgovarajuću debljinu i vrstu toplinske izolacije. Toplinski plašt pasivne kuće mora biti u cijelosti izveden zrakonepropusno i uz minimalni utjecaj toplinskih mostova koji moraju biti maksimalno minimizirani, bez obzira na to od kakvoga je materijala toplinski plašt izveden [8]. Danas se na tržištu nudi mnogo različitih vrsta toplinske izolacije. Dijelimo ih na organske, umjetne anorganske i prirodne izolacijske materijale. Od umjetnih anorganskih tvari primjerene su mineralne vune, pjenjeno staklo. Od umjetnih organskih materijala najčešće se rabe ekspanzirani i ekstrudirani polistiren, pjenjeni polietilen i pjenjeni poliuretan [6]. Zadaća toplinsko izolacijskih materijala jest smanjenje toplinskih gubitaka, a samim time i finansijskih troškova energije. Toplinska izolacija također štiti nosivu konstrukciju od vanjskih vremenskih utjecaja i njihovih posljedica (npr. pucanje građevinskih elemenata koji su izloženi direktnom utjecaju sunčevih zraka zbog naprezanja nastalih zbog razlika u temperaturi, apsorpcija vode u unutrašnjost građevine i dr.). Odabir materijala koji će se koristiti najviše ovisi o svojstvu toplinske provodljivosti, ali u obzir treba uzeti i zapaljivost materijala, utjecaj na zdravlje, ekološku prihvatljivost i dr.

#### 4.3.1. Visokokvalitetna tvrda poliuretanska pjena (PUR)

Poliuretanska pjena je u svijetu vrlo rasprostranjen izolacijski materijal, koji u standardnom obliku ima  $\lambda = 0,028$ . Međutim, ako se PUR ploča obostrano kašira, može se postići  $\lambda = 0,024$  te tako imamo znatno bolja svojstva izoliranja. Nekaširani PUR, izolacijski materijal ima vrlo visoki modul elastičnosti pa je time zbog svoje tvrdoće manje prikladan za povezane sustave za toplinsku izolaciju. Kako bi se uklonio taj nedostatak PUR materijala, proizvode se izolacijske ploče čije su bočne stranice kaširane što omogućuje da se materijal može brusiti te da se ploča može učvrstiti pričvrstnicama na spojevima.



Slika 4.3.1.1. Kaširana poliuretanska pjena

#### 4.3.2. Kamena vuna

Kamena vuna izolacijski je materijal mineralnog podrijetla. Karakteristična je po odličnim zvučnim, toplinskim i protupožarnim svojstvima. Za proizvodnju kamene vune najčešće se koriste umjetni, silikatni materijali ili prirodni materijali poput kamena diobaza, dolomita, bazalta i sl. S obzirom na materijal od kojeg je napravljena, tj. mineralnih tvari, kamena vuna osim svojstava same vune (fleksibilnost i toplinska izolacija) ima i mehanička svojstva kamena (čvrstoća, visoka točka zapaljenja itd.) Kamena je vuna paropropusna, vodootporna, vodoodbojna te je otporna na gljivice i bakterije, truljenje i starenje. Nadalje, još jedno pozitivno svojstvo kamene vune jest i izrazito mali koeficijent rastezljivosti što omogućuje njezinu primjenu zajedno s različitim drugim građevinskim materijalima te ugradnju bez straha od nastanka pukotina. U graditeljstvu, najčešća primjena kamene vune jest kao toplinski i zvučni izolator. Također, može se koristiti i u strojarским postrojenjima kao tehnički izolator. U tom slučaju kamena vuna smanjuje toplinske gubitke cijevnih izolacija te potrošnju energije određenih procesa [9].





*Slika 4.3.2.1. Kamena vuna*

#### *4.3.3. Ekspandirani polistiren*

Ekspandirani polistiren (EPS) ili stiropor umjetni je izolacijski materijal koji se koristi za toplinsku izolaciju, a može se koristiti i za zvučnu izolaciju, budući da ima dobra zvučno-izolacijska svojstva. Nadalje, ima malu toplinsku provodljivost ( $\lambda = 0.035$  do  $0.041$  W/mK) i dobra mehanička svojstva. Gustoća EPS-a najviše pridonosi izolacijskim svojstvima jer porastom gustoće pada toplinska vodljivost. Gustoća stiropora iznosi od  $12 \text{ kg/m}^3$  do  $40 \text{ kg/m}^3$ . Povećanjem gustoće EPS-a, povećava se i otpor difuziji vodene pare. Budući da nije topiv u vodi, koristi ga se u velikoj mjeri (oko 40% u potrošnji svih toplinsko-izolacijskih materijala). Njegova toplinsko-izolacijska svojstva ne smanjuju se pri nepovoljnim vremenskim uvjetima jer upija tek neznatnu količinu vode. Ekspandirani polistiren teško je zapaljiv materijal – u dodiru s plamenom ne gori, nego se samo tali. Stiropor ne smije doći u doticaj s organskim otapalima, stoga je potrebno upotrebljavati prikladno građevinsko ljepilo. EPS je otporan na anorganske kiseline i soli, ne pospješuje rast mikroorganizama, ne truli i ne stvara plijesan, ne raspada se i lako se reciklira [10].



*Slika 4.3.3.1. Ekspandirani polistiren*

#### 4.3.4. Ekstrudirani polistiren

Ekstrudirani polistiren (XPS) je toplinski izolator sa zatvorenim ćelijama u obliku saća. Polistiren, polimer ugljika i vodika, pogodan je za toplinsko oblikovanje, a procesom polimerizacije i konstantne ekstrudacije dobiva oblik tvrde pjenaste ploče. Uz to, sadrži i manji postotak dodatnih supstanci, poput boja. Proizvodnja ekstrudiranog polistirena je nepovoljna za okoliš jer je potrebna veća količina energije za proizvodnju, a često se koriste i CFC plinovi (kloro – fluoro – ugljikohidrati) koji štete ozonskom omotaču.

Ekstrudirani polistiren posebno se preporuča na mjestima gdje je toplinska izolacija u neposrednom kontaktu s vodom (podrum, obrnuti ravni krov) jer ima malu vodoupojnost (manju od 0,2% svog volumena). Ima malu toplinsku provodljivost ( $\lambda = 0,024 - 0,028 \text{ W/mK}$ ), visoku mehaničku čvrstoću (350-800 kN/m<sup>2</sup> pri 10%-tnoj stišljivosti). Također je teško zapaljiv materijal, a temperatura upotrebe je od -50°C do +75°C. Primjenjuje se u izolaciji unutarnjih zidova, podova, podruma, ravnih i kosih krovova. Ne preporučuje se za izolaciju vanjskih zidova jer je izrazito paronepropusan, nije dovoljno otporan na nagle promjene temperature i na visoke temperature [10].



*Slika 4.3.4.1. Ekstrudirani polistiren*

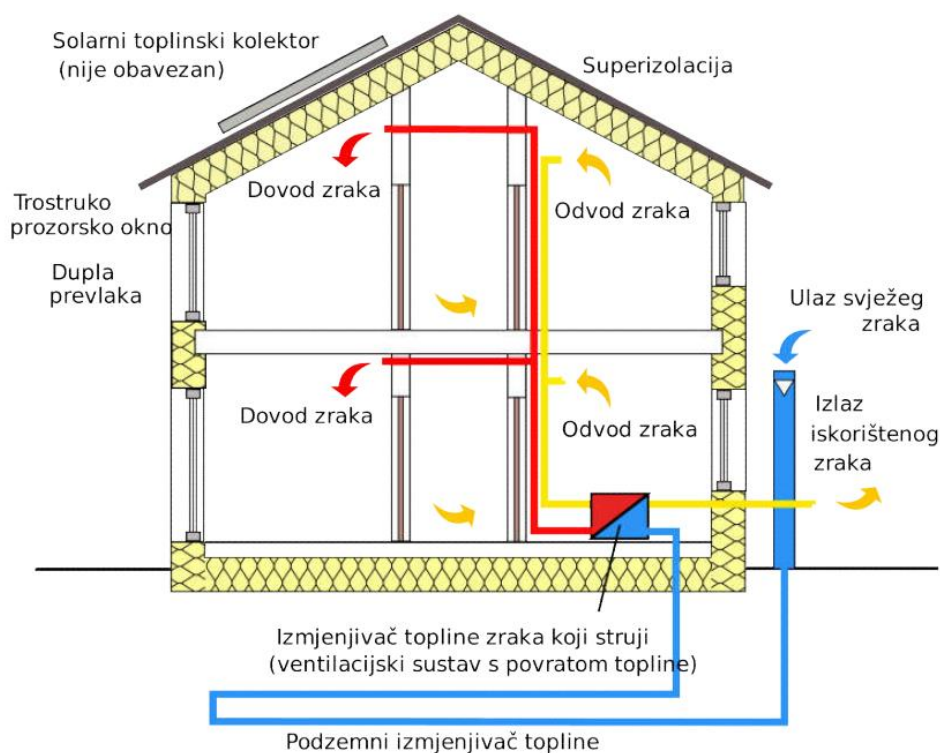
#### 4.3.5. Celuloza

Celuloza se dobiva recikliranjem starih novina, koje se najprije režu, a zatim se dodaje borova sol, što pahuljicama daje impregnacijski sloj koji štiti izolaciju od insekata i plijesni. Primjerena je za izolaciju krovova, stropova i suhomontažnih podova, a koristi se i u kućama s drvenom šupljom konstrukcijom. Celuloza se u rasutom stanju stišće u mekovlaktaste ploče, primjerene za oblaganje zidova. Izolacija se posebnim strojem upuhuje na površinu ili u kalup, čime se postiže jednakomjerno raspoređivanje pahuljica po površini i zapuhivanje svih dijelova – čak i teško dostupnih mjesta.

Za izradu celuloze je potrebno malo energije, a toplinska provodljivost iznosi  $\lambda = 0,040 - 0,045 \text{ W/mK}$ . Preporuča se oko 10 – 12 cm debeli sloj nanosa na zid ili u zidu i 20 – 25cm za izolaciju potkrovlja [10].

#### 4.4. Ventilacijski sustavi

Standard pasivne kuće zahtijeva izvanredno zrakonepropusnu ovojnicu zgrade kako bi se uvelike smanjili ventilacijski toplinski gubici. Takvom zrakonepropusnošću gotovo u potpunosti sprječavamo dovod svježeg zraka u zgradu pa je stoga obavezna ugradnja sustava za ventilaciju. U pasivnoj kući stoga nije potrebno otvarati prozore jer se svježi zrak konstantno dovodi putem samog ventilacijskog sustava. No to ne znači da se prozori ne smiju otvarati, dapače, poželjno ih je nakratko otvoriti u situacijama boravka većeg broja ljudi, pušenja u kući i sl. Pritom se gubi toplina, ali sustav pasivne kuće nije narušen. Mehanički sustav ventilacije regulira i vlažnost zraka u prostorijama, čime se uz smanjenje točke rosišta dodatno prevenira nastanak gljivica, plijesni, filtrira se prašina što povoljno utječe na zdravlje korisnika zgrade. Ventilacijski sustav obuhvaća zemni izmjenjivač topline, protustrujni izmjenjivač zraka, dogrijavanje zraka i ventilacijski razvod.



Slika 4.4.1. Shema ventilacijskog sustava pasivne kuće

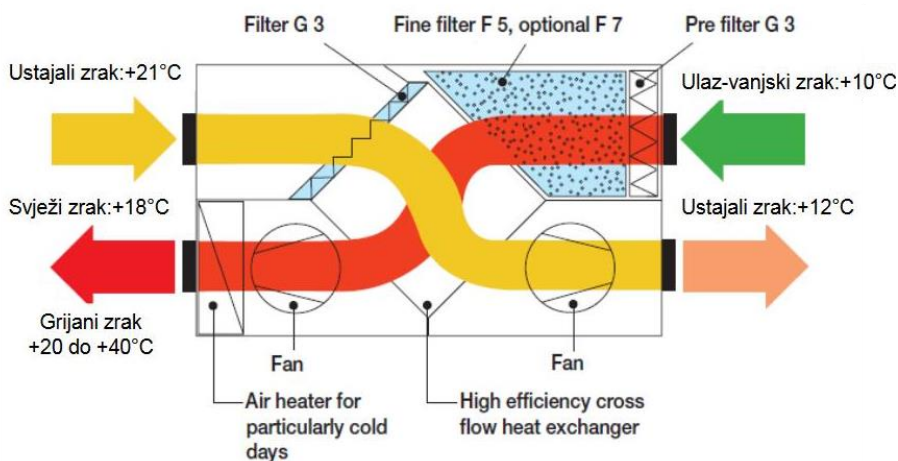
Koncept gradnje pasivne kuće u svrhu smanjenja toplinskih gubitaka [6]

#### 4.4.1. Protusmjerni izmjenjivač topline (rekuperator)

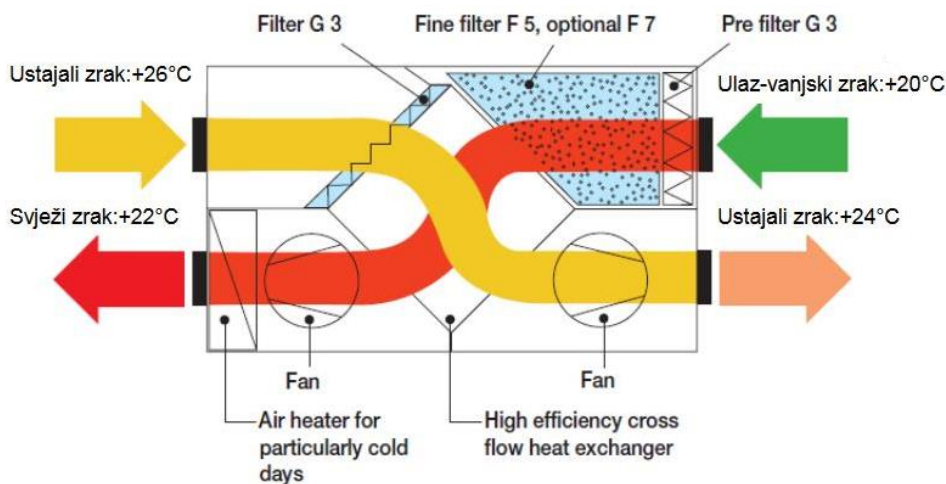
Sustav mehaničke ventilacije s izmjenjivačem topline smanjuje toplinske gubitke u odnosu na prirodnu ventilaciju i ventilaciju bez izmjenjivača topline tako što izlazni (potrošeni) zrak zagrijava ili hladi ulazni (svježi) zrak i to bez direktnog kontakta te mu pritom oduzima/predaje samo toplinu i vlažnost [11]. Protusmjerni izmjenjivači topline su uređaji relativno jednostavne konstrukcije, ali rezultat visoke tehnologije s učinkovitošću do čak 95%. Poželjno je koristiti cijevne izmjenjivače vrlo velike kontaktne površine i što je moguće veće učinkovitosti te da su certificirani za ugradnju u pasivne objekte.

Pretpostavimo li temperaturu na ulazu u protustrujni izmjenjivač iz zemnog izmjenjivača 8 – 10 °C, a potrebna sobna temperatura nam je 20 °C, uz učinkovitost od 95% zrak na izlazu iz protustrujnog izmjenjivača imao bi 19,4 – 19,5 °C, što uz odgovarajuću toplinsku izolaciju cijele građevine zahtijeva male količine dodatne energije za dogrijavanje zraka [12].

Princip rada rekuperatora prikazan je na slikama 8. i 9.



Slika 4.4.1.1. Rekuperator u zimskom režimu rada



Slika 4.4.1.2. Rekuperator u ljetnom režimu rada

#### 4.4.2. Zemljani kolektor

Zemlja na dubini većoj od 1,5m održava stabilnu temperaturu od 12°C uz vrlo male oscilacije. To svojstvo akumulirane sunčeve topline u zemlji pruža nam vrlo dobro i dostupno rješenje za predgrijavanje zraka zimi i isto tako za hlađenje ljeti. Prilikom ugradnje zemnih kolektora potrebno je obratiti veliku pozornost na brtvljenje cijevi i osiguravanje minimalnog pada od 2% u smjeru strujanja zraka. Pad je potrebno osigurati radi odvođenja eventualnog kondenzata koji može nastati unatoč filtrima na ulazu vanjskog zraka u cijevi. Cijevi koje se ugrađuju u zemni kolektor trebaju biti glatke nutarnje površine, a zavoji što obliji radi smanjenja otpora strujanja fluida. Ispitivanja su pokazala da na ulazu zraka u prostorije pasivne kuće, zrak sadrži samo 10 – 20 % od ukupnog broja bakterija koje se inače nalaze u slobodnom zraku [13].



*Slika 4.4.2.1. Zemni kolektor pasivne kuće u Begovom Razdolju (2007)*

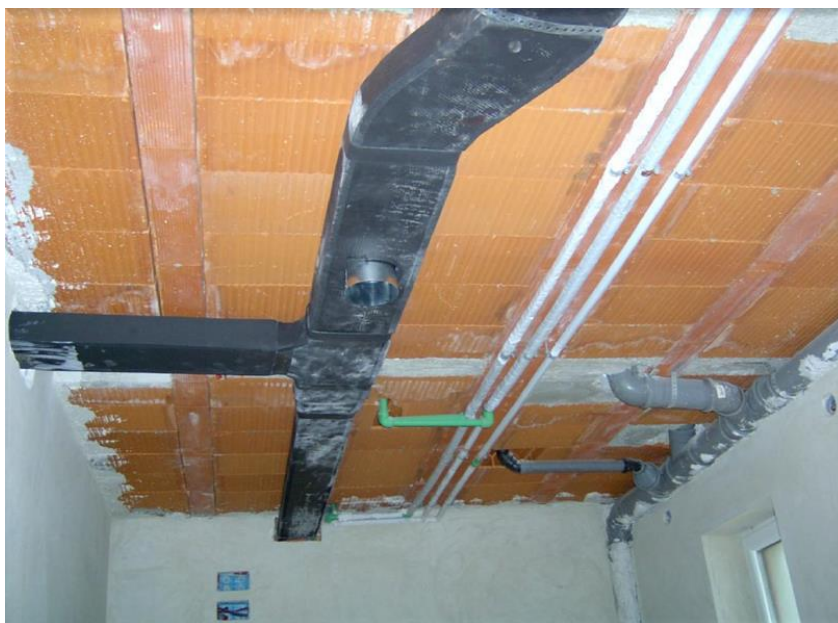


*Slika 4.4.2.2. Zemni kolektor obiteljske kuće „Vilić“ u Buzetu*

#### 4.4.3. Ventilacijski razvod

Dovod svježeg zraka vrši se u prostorije gdje se najviše boravi (dnevna soba, spavaća, radna soba), a odvod se vrši iz kuhinje i kupaonice. Time se osigurava cirkulacija, a ujedno i odvode nepoželjni mirisi. Pažnju valja obratiti i na zvučnu izolaciju ventilacije te pripaziti da dimenzioniranjem osiguramo brzinu strujanja ulaznog zraka koja neće biti veća od fiziološke granice ugone, a to je 20 cm/sek [13].





*Slika 4.4.3.1. Ventilacijski razvod u pasivnoj kući*

#### *4.5. Zrakonepropusnost (Blower Door test)*

Zrakopropusnost vanjske ovojnice predstavlja otpor prolasku zraka iz unutrašnjosti zgrade ili ulasku vanjskog zraka u unutrašnjost zgrade, a ispituje se Blower Door testom. Mjereno tim testom, broj izmjena zraka u prostoru ne smije prelaziti 0,6 1/h pri razlici tlakova od 50Pa, a higijenski minimum iznosi 0,5 izmjena zraka. Zrakonepropusnost vanjske ovojnice zgrade važna je zbog kontrole ventilacijskih toplinskih gubitaka (potrebno je da se što više zraka provodi kroz sustav za rekuperaciju topline, a da se što manje gubi kroz vanjsku ovojnicu) te zbog toga što zrak koji prolazi kroz vanjsku ovojnicu, prolazi kroz nju i sa sobom nosi vodenu paru. Vodena para se u sloju toplinske izolacije kondenzira, što utječe na toplinska svojstva toplinske izolacije – povećava se koeficijent provođenja topline, čime se povećavaju ukupni gubici topline kroz vanjsku ovojnicu. Povećana vlažnost u sloju toplinske izolacije doprinosi razvoju gljivica, plijesni i tako nepovoljno utječe na zdravlje korisnika zgrade i doprinosi propadanju nosive konstrukcije zgrade.

Ispitivanje zrakonepropusnosti vanjske ovojnice zgrade potrebno je provesti prije izvođenja završnih radova kako bi se postigla veća kvaliteta izvođenja radova na zrakonepropusnoj ovojnici te kako bi se odmah ispravile eventualne pogreške u izvođenju. Ukoliko bi se ispitivanje provodilo nakon završenih radova ispravak nedostataka i pogrešaka zahtijevao bi veću cijenu sanacije [14].

Zahtjevi za zrakonepropusnost omotača zgrade odnosi se na sljubnice spojeva pojedinih građevnih dijelova koji trebaju biti zrakonepropusni u skladu s trenutnim dosegnutim stupnjem razvoja tehnike i tehnologije.

Tijekom gradnje pasivne kuće, važno je usmjeriti pažnju na izvedbu zrakonepropusne vanjske ovojnice zgrade, na spojeve građevnih dijelova zgrade te na spojeve različitih elemenata vanjske ovojnice (prozori i vrata) [14].



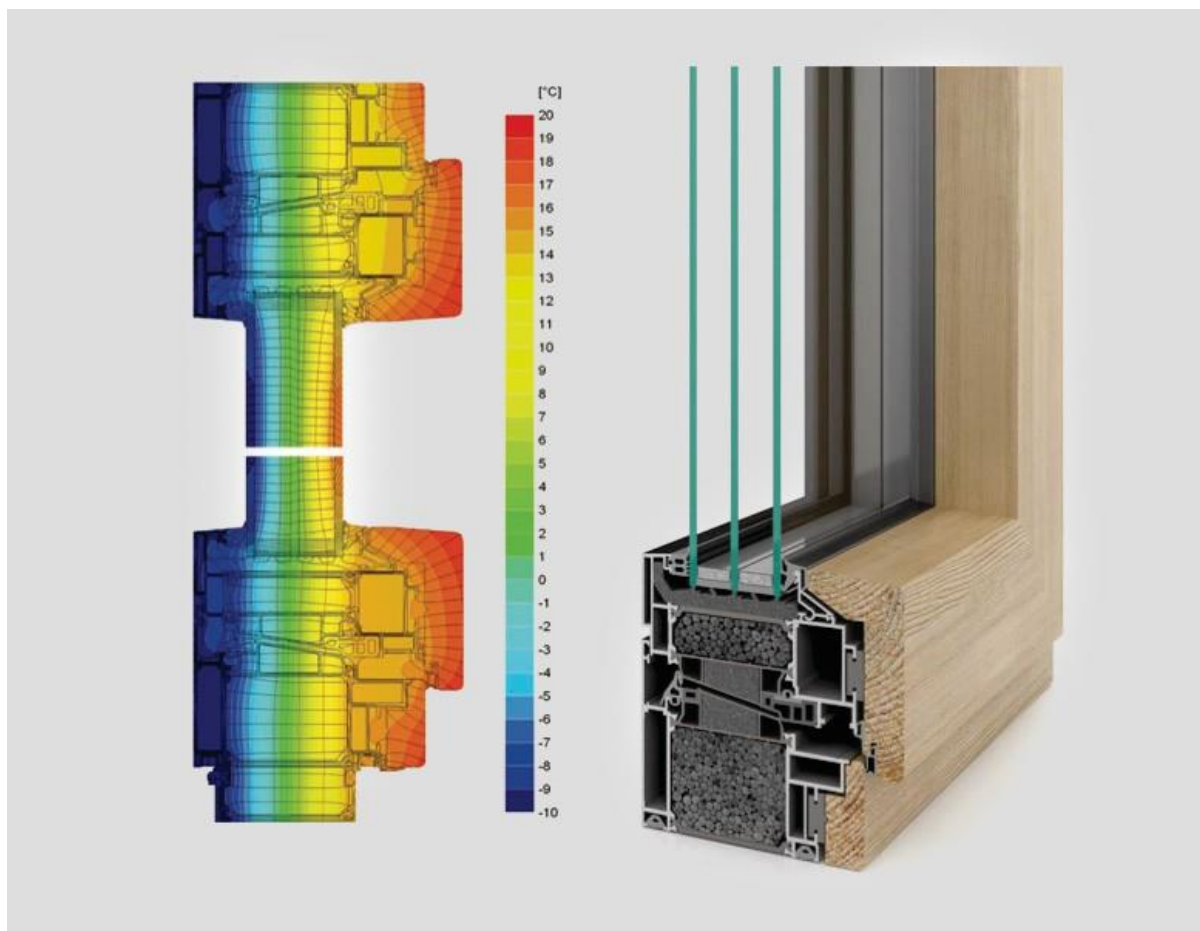
*Slika 4.5.1. Ispitivanje blower door testom*

## *4.6. Građevinski otvori pasivne kuće*

### *4.6.1. Prozori za pasivnu kuću*

U toplinsko izolacijskom smislu vrata i prozori pasivne kuće su „najslabija“ mjesta vanjske ovojnice zgrade. Tehnički standard pasivne kuće zahtijeva ugradnju prozora i vrata čiji koeficijent provodljivosti  $U_g$  mora biti manji od  $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . U tu svrhu razvijena je stolarija s troslojnim ostakljenjem koja zimi uspijeva propustiti više sunčeve energije u prostor nego topline iz prostora. Učinkovitost toplinske izolacije prozora povećava se punjenjem međuprostora stakala plemenitim plinovima, a najčešće je riječ o argonu. Na slici 14. prikazani su prozori s troslojnim ostakljenjem s niskoemisijским nanosima i argonom u međuprostoru. Okvir tog prozora je dobro zaštićen s vanjske strane. Unutarnje površinske temperature na staklu i na spoju stakla s drvenim okvirom su više nego kod prozora s dvoslojnim ostakljenjem ( $\sim 17^\circ\text{C}$ ) čime se izbjegava osjećaj asimetrije i sprječava pojava kondenzacije vodene pare [6]. Budući da u pasivnoj kući nema grijaćih tijela u

blizini prozora, vrlo je važno ugraditi kvalitetno toplinsko-izolacijsko ostakljenje. Kako bi se spriječio prolazak dugovalnog toplinskog zračenja kroz ostakljenje, na staklo je najčešće nanesen tanak premaz srebrnih oksida (niskokemijski nanos LOW-E). Premaz je bezbojan i ne utječe na prolaz svjetla. LOW-E propušta zračenje samo kratkih valnih duljina (sunčeva svjetlost) dok se dugovalna zračenja (infracrvena svjetlost) odbija. Nanosi se na jednu ili obje strane IZO stakla. Njime omogućujemo ulaz topline, ali ne i izlaz [6].



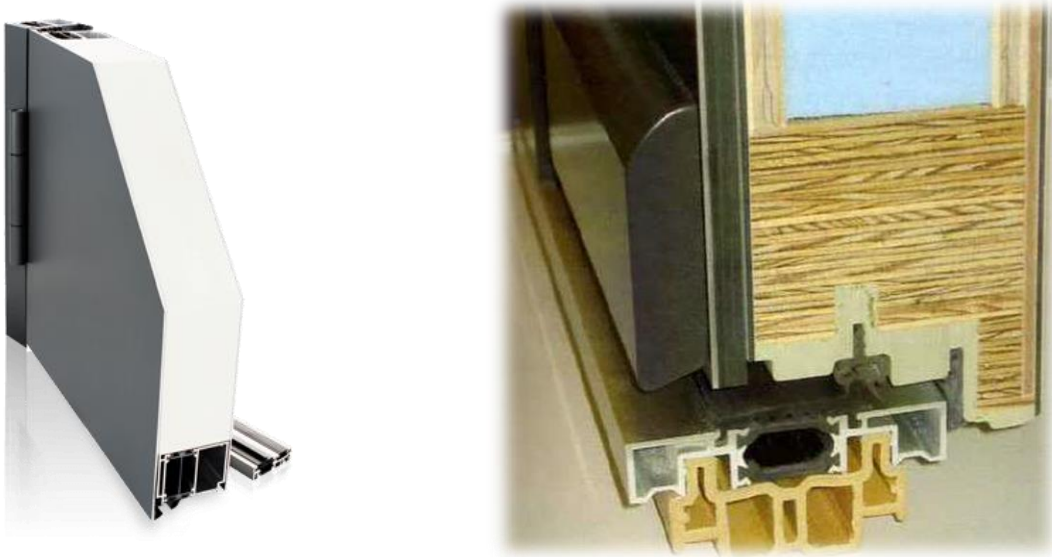
*Slika 4.6.1.1. Profil prozora s trostrukim ostakljenjem*

#### *4.6.2. Vrata pasivne kuće*

Vrata pasivne kuće razlikuju se od uobičajenih ulaznih vrata za klasične kuće po zrakonepropusnosti. Naime, takva vrata moraju imati brtvila – na stranama i gore dvostruko, a kod praga jednostruko, moraju osiguravati stabilan oblik te imati dodatne zatvarače na vratnom krilu – gore i dolje – koje stisnu krilo na brtвило. Kod ugradnje vrata mora se paziti da ne dođe do



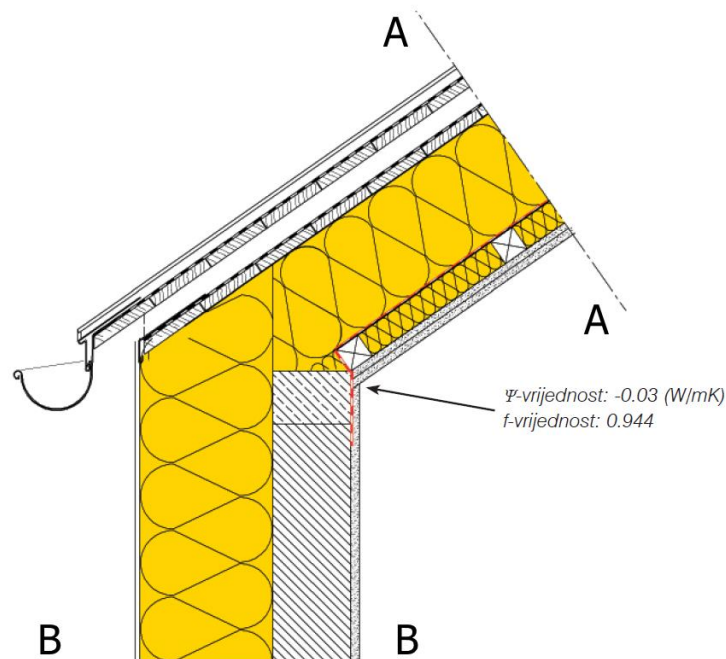
nastanka toplinskim mostova. Kako bi se povećala zrakonepropusnost vrata, ugrađuje se prag u visini od 15mm [6].



*Slika 4.6.2.1. Presjek ulaznih vrata i detalj brtvila*

## 5. Detalji izvedbe pasivne kuće [15]

### 5.1. Spoj vanjskog masivnog zida i kosog krova



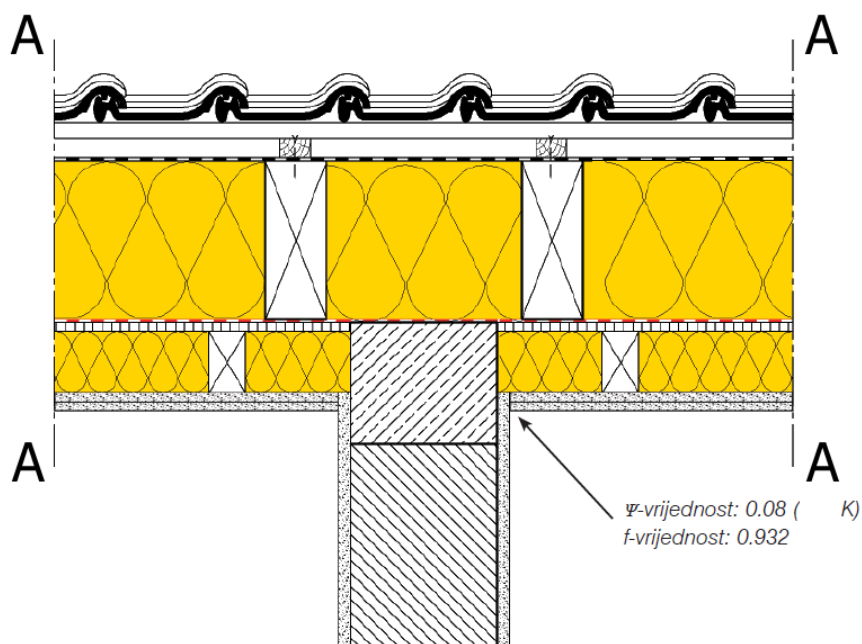
#### A. Krov (iznutra prema van)

Sastav konstrukcije	d (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1. Gips-kartonska ploča, dva sloja	0.0250	0.250	0.100
2. Izolacija ispod roga između letvica za pričvršćivanje GK ploča	0.050	0.035	1.428
3. Klima membrana Vario KM duplex	-	-	-
4. Zaglavni filc od mineralne vune između rogova	0.260	0.035	7.428
5. Daščana oplata	0.024	0.130	0.185
6. Paropropusna folija	-	-	-
7. Krovište, ventilirano	-	-	-
Ukupni zbroj toplinskih otpora			9.141
Rubni otpori (prijelaz topline)			0.140
U-vrijednost bez drvenih elemenata			U=0.11 (W/ m <sup>2</sup> K)
U-vrijednost s drvenim elementima			U=0.11 (W/ m <sup>2</sup> K)

#### B. Vanjski zid (iznutra prema van)

Sastav konstrukcije	d (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1. Unutarnja žbuka	0.015	0.700	0.021
2. Betonski zid 1600	0.175	0.790	0.221
3. Mineralna vuna sa gipsanim prednamazom	0.280	0.035	8.000
4. Vanjska žbuka	0.025	1.000	0.025
Ukupni zbroj toplinskih otpora			8.267
Rubni otpori (prijelaz topline)			0.170
U-vrijednost objekta			U=0.120 (W/m <sup>2</sup> K)

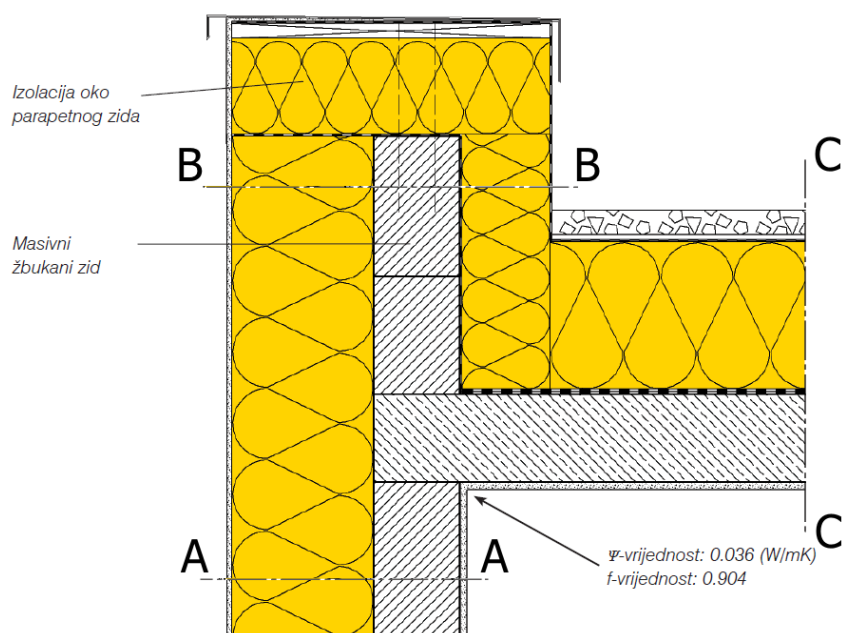
## 5.2. Spoj pregradnog zida i kosog krova



### A. Krov (iznutra prema van)

Sastav konstrukcije	d (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1. Gips-kartonska ploča, dva sloja	0.025	0.250	0.100
2. Izolacija iz mineralne vune ispod rogova	0.100	0.035	2.857
3. Iverica 600	0.160	0.140	0.114
4. Klima membrana Vario KM duplex	-	-	-
5. Zaglavni filc od mineralne vune između rogova	0.240	0.035	6.857
6. Paropropusna folija	-	-	-
Ukupni zbroj toplinskih otpora			9.928
Rubni otpori (prijelaz topline)			0.140
U-vrijednost bez drvenih elemenata			U=0.10 (W/m <sup>2</sup> K)
U-vrijednost s drvenim elementima			U=0.12 (W/m <sup>2</sup> K)

### 5.3. Spoj vanjskog masivnog zida i ravnog krova



#### A. Vanjski zid (iznutra prema van)

Sastav konstrukcije	d (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1. Unutarnja žbuka	0.015	0.700	0.021
2. Betonski zid 1600	0.175	0.790	0.221
3. Mineralna vuna sa gipsanim prednamazom	0.280	0.035	8.000
4. Vanjska žbuka	0.025	1.000	0.025
Ukupni zbroj toplinskih otpora			8.267
Rubni otpori (prijelaz topline)			0.170
U-vrijednost objekta			U=0.14 (W/m <sup>2</sup> K)

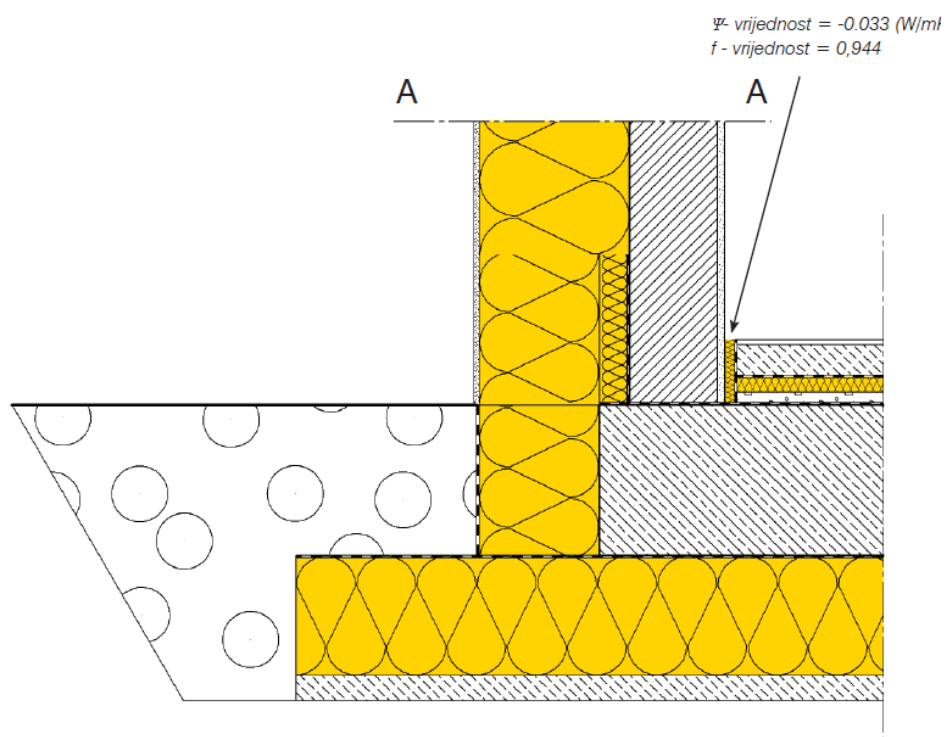
#### B. Parapetni zid (iznutra prema van)

Sastav konstrukcije	d (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1. Metalni pokrov	-	-	-
2. Izolacija iz mineralne vune	0.180	0.035	5.143
3. Betonski zid 1600	0.175	0.790	0.221
4. Mineralna vuna sa gipsanim prednamazom	0.280	0.035	8.000
5. Vanjska žbuka	0.025	1.000	0.025
Ukupni zbroj toplinskih otpora			13.389
Rubni otpori (prijelaz topline)			0.170
U-vrijednost objekta			U=0.07 (W/m <sup>2</sup> K)

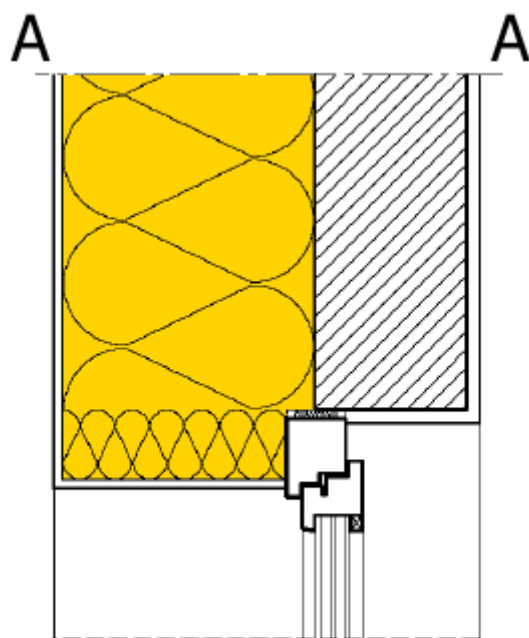
#### C. Ravni krov (iznutra prema van))

Sastav konstrukcije	d (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1. Unutarnja žbuka	0.015	0.700	0.021
2. Armirani beton 2300, ojačanje 1%	0.140	2.300	0.221
3. Izolacijska krovna ploča iz mineralne vune	0.320	0.040	8.000
4. Dvoslojna krovna hidroizolacijska traka + sloj od šljunka	-	-	-
Ukupni zbroj toplinskih otpora			8.242
Rubni otpori (prijelaz topline)			0.140
U-vrijednost objekta			U=0.12 (W/m <sup>2</sup> K)

#### 5.4. Spoj vanjskog masivnog zida i ravnog krova



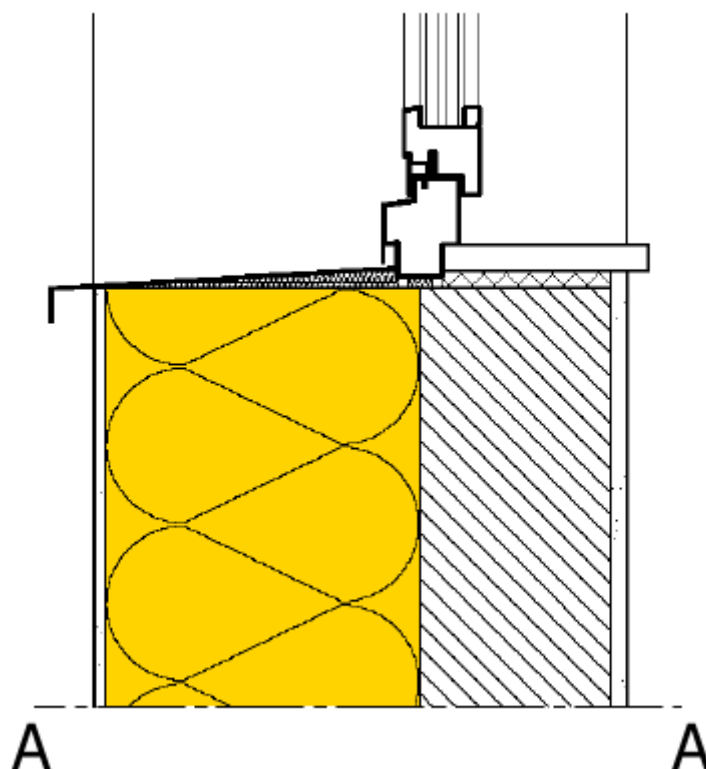
#### 5.5. Spoj prozora s nadprozornikom - masivna konstrukcija



#### A. Vanjski zid (iznutra prema van)

Sastav konstrukcije	d (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1. Unutarnja žbuka	0.015	0.700	0.021
2. Betonski zid 1600	0.175	0.790	0.221
3. Mineralna vuna sa gipsanim prednamazom	0.280	0.035	8.000
4. Vanjska žbuka	0.025	1.000	0.025
Ukupni zbroj toplinskih otpora			8.267
Rubni otpori (prijelaz topline)			0.170
U-vrijednost objekta			U=0.12 (W/m <sup>2</sup> K)

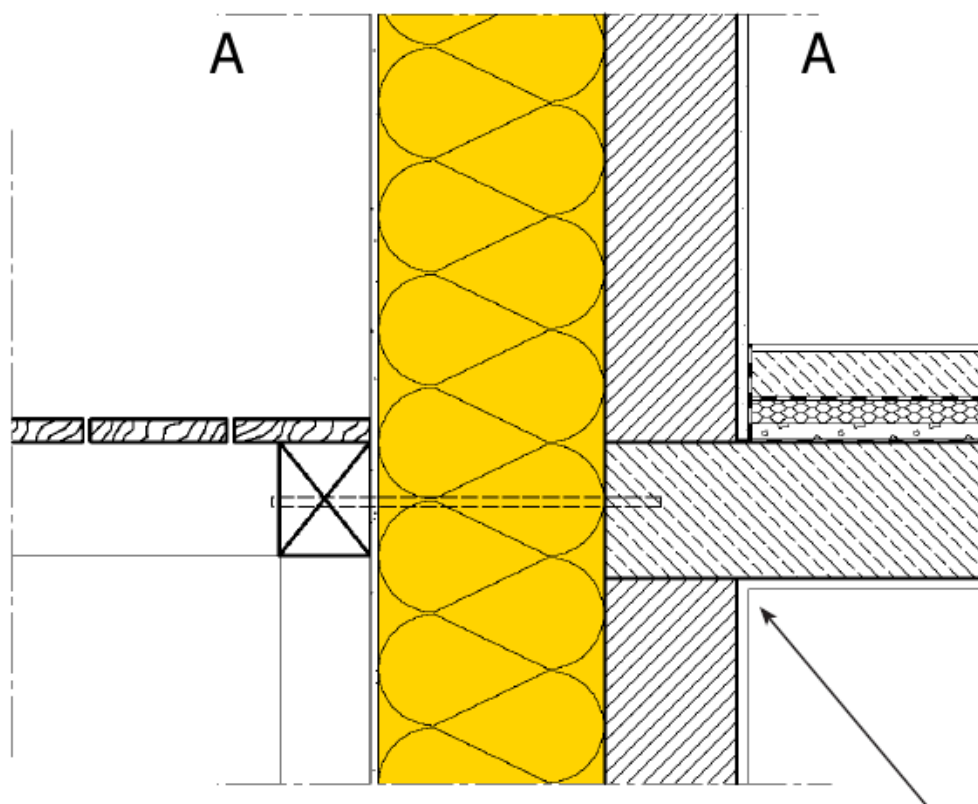
### 5.6. Spoj prozora s prozorskom klupčicom - masivna konstrukcija



#### A. Vanjski zid (iznutra prema van)

Sastav konstrukcije	d (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1. Unutarnja žbuka	0.015	0.700	0.021
2. Betonski zid 1600	0.175	0.790	0.221
3. Mineralna vuna sa gipsanim prednamazom	0.280	0.035	8.000
4. Vanjska žbuka	0.025	1.000	0.025
Ukupni zbroj toplinskih otpora			8.267
Rubni otpori (prijelaz topline)			0.170
U-vrijednost objekta			U= 0.12 (W/m <sup>2</sup> K)

### 5.7. Toplinski odvojen balkon, postavljen na potpornim stupovima



$\Psi$ - vrijednost = -0.00 (W/mK);  
f - vrijednost = 0,969

Arhitektonski nacrti

#### A. Vanjski zid (iznutra prema van)

Sastav konstrukcije	d (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1. Unutarnja žbuka	0.015	0.700	0.021
2. Betonski zid 1600	0.175	0.790	0.221
3. Mineralna vuna sa gipsanim prednamazom	0.280	0.035	8.000
4. Vanjska žbuka	0.0250	1.000	0.025
Ukupni zbroj toplinskih otpora			8.267
Rubni otpori (prijelaz topline)			0.170
U-vrijednost objekta			U=0.12 (W/m <sup>2</sup> K)



## 6. Pasivna kuća u Hrvatskoj

### 6.1. Prva realizirana hrvatska pasivna kuća

Prva pasivna kuća u Hrvatskoj izgrađena je u mjestu Brestovje u blizini Zagreba (investitor i vlasnik Branko Mihaljev). Ukupno je u izgradnju kuće (i kupnju zemljišta) uloženo oko 80 000 eura. Iako je cijena izgradnje kuće stajala čak 20% više nego li bi tada koštala izgradnja klasične kuće, povećani će se troškovi relativno brzo isplatiti pošto je potrošnja energije u pasivnoj kući pet do šest puta manja [13].

Površina kuće iznosi 200 m<sup>2</sup>. Kvadratura kuće ravnomjerno je raspodijeljena na prizemlje i potkrovlje, dakle svaka od etaža veličine je 100 m<sup>2</sup>.

Zidovi su izrađeni od poroznog betona te su izolirani na način da koeficijent prolaza topline ne prelazi vrijednost od 0,15 W/m<sup>2</sup>K. Osim zidova i staklene su površine konstruirane s ciljem što manjeg propuštanja energije u okolinu. Vrijednost koeficijenta građevinskih otvora iznosi 0,8 W/m<sup>2</sup>K dok stupanj propuštanja ukupne energije  $g$  iznosi 0,5. Da bi se postigli navedeni zahtjevi, prilikom gradnje ugrađena je stolarija s troslojnim staklom ispunjenim argonom te je postavljena bez toplinskih mostova na termoizolaciju ispod klupčice. Instalacijski je sistem kuće konstruiran od zemnog izmjenjivača s podzemnom vodom (koristi se u sistemu toplinske crpke). S ovako malom potrošnjom energije ( $<0,45\text{W/m}^3$ ) ostvarena je vrlo visoka učinkovitost povrata topline u sustav za provjetravanje (stupanj iskoristivosti veći je od 75%) [

Energija za kuću dobiva se pomoću toplinske pumpe. Ukupni troškovi struje (grijanje, topla voda, hlađenje, kućanski uređaji) ove pasivne kuće (200m<sup>2</sup>) godišnje iznose oko 2200kn (nešto manje od 200 kn mjesečno). Osim cjenovne isplativosti, investitor Mihaljev ističe i drugu, ne manje važnu komponentu, a to je ugodnost kuće za stanovanje.



Slika 6.1.1. Pasivna kuća u mjestu Brestovje u blizini Zagreba



## 7. Certificiranje pasivnih kuća u svijetu

Prva institucija koja se počela baviti certificiranjem pasivnih kuća je Passivhaus Institut iz njemačkog grada Darmstadta. Certificiranje se vrši za sljedeće slučajeve:

- stambene zgrade
- nestambene zgrade
- sanacije do standarda pasivne kuće

### 7.1. *Sustav certificiranja pasivnih kuća u Hrvatskoj [16]*

Trenutno u Hrvatskoj ne postoji važeći sustav certificiranja pasivnih kuća. Pri izradi prijedloga certificiranja, Hrvatska se vodi propisima Passivhaus Instituta iz Darmstadta i Passive House Institute-a US te zakonskim propisima Republike Hrvatske. Budući da standard pasivne kuće nije zakonska obaveza za zgrade, certificiranje pasivne kuće nije obavezno već ovisi o želji i motivaciji investitora.

### 7.2. *Sustav certificiranja Passivhaus Instituta iz Njemačke [16]*

Passivhaus Institut je institut koji akreditira ustanove diljem svijeta za provođenje certificiranja građevnih proizvoda, projektanata i izvođača. U svrhu certificiranja pasivne kuće nije potrebno da projekt izradi certificirani projektant pasivne kuće niti da ju izvede certificirani izvođač. Za certificiranje pasivne kuće potrebno je podnijeti zahtjev za izdavanje certifikata nakon završetka gradnje kako bi se utvrdilo zadovoljava li građevina standard pasivne kuće.

Passivhaus Institut razvio je alat za proračun fizike zgrade pod imenom Passive House Planning Package (PHPP) koji se temelji na proračunima propisanim važećim europskim normama, tako da je primjenjiv i na obične zgrade, a ne samo na pasivne kuće. PHPP je prepoznat kao najbolji pokazatelj ispravnosti projektnog rješenja pasivne kuće u pogledu energetske karakteristike.

### 7.3. *Sustav certificiranja Passive House Institute-a US iz SAD-a [16]*

Passive House Institute Us provodi sustav certificiranja pasivnih kuća po PHIUS+ modelu koji se sastoji od 2 temeljna dijela. Prvi dio jest certificiranje temeljeno na energijskom modelu za koji je potrebno priložiti energijski model zgrade, nacрте, specifikacije i dr., a drugi dio obuhvaća terensku kontrolu i osiguranje kvalitete za koju je potrebno izvršiti terensku provjeru izvedbe konstrukcije, ispitivanje „Blower door“, podešavanje i puštanje ventilacijskog sustava u pogon i izračun HERS (Home Energy Rating Standard) indeksa. HERS indeks označava mjeru energetske učinkovitosti zgrade u SAD-u, osnovan je 2006. godine od strane Residential Energy Services Network (RESNET), kalifornijske nacionalne udruge certifikatora kuća i energetske učinkovitosti. Što je indeks HERS manji, građevina je učinkovitija pri čemu indeks 100 označava potrošnju energije „standardne američke kuće“, a indeks 0 predstavlja nultu potrošnju.

Za razliku od njemačkog Passivhaus instituta za certificiranje, u američkom sustavu potrebno je da investitor još prije početka izrade projekta zgrade ugovori usluge certificiranog konzultanta za pasivne kuće koji je prošao izobrazbu i položio ispit Passive House Institute-a. Uz to, potrebno je ugovoriti usluge PHIUS+ ocjenitelja koji je certificiran za provođenje osiguranja i kontrole kvalitete pasivne kuće prema načelima PHIUS+ certifikacije. PHIUS + ocjenitelj provodi provjeru kvalitete tijekom izgradnje – izrađuje HERS indeks i popunjava zadani propis za provjeru. Dodjeljivanje HERS indeksa obavlja neovisna neprofitna organizacija RESNET (Residential Energy Services Network), stoga PHIUS+ ocjenitelj može biti osoba koja je certificirana kao RESNET ocjenitelj. Terenske provjere PHIUS+ ocjenitelja su sljedeće: provjera izolacije građevnih elemenata koji graniče s tlom, preliminarna ispitivanja metodom „Blower door“, provjera kvalitete ugrađene izolacije, ugrađenih prozora i vrata, završno ispitivanje metodom „Blower door“ i podešavanje ventilacijskog sustava. Kao i kod njemačkog sustava certificiranja i u američkom sustavu nije potrebno da građevinu gradi certificirani izvođač.

## 8. Zaključak

Budući da se Hrvatska, kao i ostale zemlje članice Europske unije, obvezala na ispunjenje preuzetih obveza za smanjenjem ukupne potrošnje energije, naročito električne energije i povećanje opskrbe energijom iz obnovljivih izvora, nužno je da prihvatimo nove standarde projektiranja i gradnje. Jedan od njih je i tehnički standard pasivne kuće. Trenutno u Hrvatskoj pasivni standard nije zakonska obveza za projektiranje ni gradnju stambenih i nestambenih zgrada, ali ga možemo svrstati u novi standard zgrada gotovo nulte energije ukoliko se zgrade izgrađene prema pasivnom standardu opskrbljuju dovoljnom količinom energije iz obnovljivih izvora. Prema važećem tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 128/15) ta količina je propisana na način da minimalno 30% godišnje primarne energije mora biti podmireno iz OIE. Prilikom projektiranja pasivne kuće važna je pravilna orijentacija, zadovoljavajući oblik kuće, ugradnja kvalitetnih prozora i vrata, postizanje propisane zrakonepropusnosti, postavljanje odgovarajuće toplinske izolacije i sprječavanje toplinskih mostova te učinkovit sustav mehaničkog ventiliranja. Također posebnu pozornost treba obratiti na izvedbu detalja i o svemu unaprijed promišljati. Zbog korištenja mehaničkog sustava i pasivnog standarda gradnje u pasivnoj kući postizemo idealnu toplinsku i stambenu ugodnost, zrak regulirane vlažnosti, filtriran od prašine i nečistoća. Vlasnici već postojećih pasivnih kuća potvrđuju nam da je investicija u pasivnu kuću opravdana te da se uložena sredstva brzo vraćaju putem malih režijskih troškova i troškova održavanja, a ugodnost stanovanja u pasivnim kućama i zdrav prostor financijski su nemjerljivi.

U Varaždinu, 21.09.2017. Antun Šimek

## 9. Literatura

- [1] *Ušteda energije u građevinama.* Preuzeto 15. srpnja 2017. s <https://www.enu.hr/gradani/info-edu/usteda-energije-u-zgradama/>
- [2] *Plan za povećanje broja zgrada gotovo nulte energije do 2020. godine.* Preuzeto 18. srpnja 2017. s [http://www.mgipu.hr/doc/Propisi/PLAN\\_PBZ\\_0\\_energije\\_do\\_2020.pdf](http://www.mgipu.hr/doc/Propisi/PLAN_PBZ_0_energije_do_2020.pdf)
- [3] Đuroković Jagodić, R. (2016) *Predavanje na 9. danima pasivne kuće: Put prema energetske neovisnim i CO<sub>2</sub> neutralnim zgradama.* Sveučilište u Zagrebu: Arhitektonski fakultet.
- [4] Narodne novine (2014) *Tehnički propis o izmjenama i dopunama tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energija o toplinskoj zaštiti u zgradama.* Zagreb, Narodne novine, d.d., 97/14 i 130/14.
- [5] Narodne novine (2015) *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama.* Zagreb, Narodne novine d.d., 128/15.
- [6] Senegačnik Zbašnik, M. (2009) *Pasivna kuća.* Zagreb: Sun arh.
- [7] Narodne novine (2010) *Pravilnik o energetske certificiranju zgrada.* Zagreb, Narodne novine, d.d., 36/10.
- [8] Mišćević, Lj. (2005) Pasivni energetski standard u graditeljstvu kao perspektiva održivog razvitka – prve pasivne kuće u Hrvatskoj. Zbornik radova *Energetske perspektive danas i sutra*, Hrvatsko energetske društvo, Zagreb, 117-126.
- [9] Mikulić, D. (2008) *Građevinska fizika*, predavanja.
- [10] Kolić, D., Šimunović, T.: Ekonomske i ekološke karakteristike energetske učinkovite gradnje, Rad za rektorovu nagradu, Građevinski fakultet. Zagreb.
- [11] Vladušić, D.: Projekt pasivne građevine sa primjenom toplinske pumpe i solarnih sustava, Diplomski rad, Specijalistički stručni studij strojarstva. Karlovac.
- [12] Prva pasivna kuća u Hrvatskoj. Preuzeto 20. srpnja 2017. s <http://www.gradimo.hr/clanak/prva-pasivna-kuca-u-hrvatskoj/7362>
- [13] *Pasivna kuća i cijena.* Preuzeto 18. srpnja 2017. s <http://www.pasivna-kuca.info/gradnja/37-gradnja-pasivne-kuce/42-pasivna-kuca-i-cijena.html>.
- [14] Milovanović, B., Štrimer, N., Mišćević, Lj. (2012) *Pasivna kuća poboljšanje, kvalitete stanovanja.* 12. hrvatska konferencija o kvaliteti i 3. znanstveni skup Hrvatskog društva za kvalitetu, Brijuni.
- [15] Isover kuća s više udobnosti. Preuzeto 20. srpnja 2017. s [http://www.isover.hr/sites/isover.hr/files/assets/documents/isoksvu.pdf?option=com\\_i\\_trfile&view=download&id=2737.pdf](http://www.isover.hr/sites/isover.hr/files/assets/documents/isoksvu.pdf?option=com_i_trfile&view=download&id=2737.pdf)

## Popis slika

Slika 4.1.1. Odnos faktora oblika s obzirom na oblik građevine

Izvor: Senegačnik Zbašnik, M. (2009) *Pasivna kuća*. Zagreb: Sun arh.

Slika 4.2.1. Obasjavanje sunca u ljetnim i zimskim danima

Izvor: <http://www.montazneidrvenekuce.info/energetika/sta-je-pasivna-solarna-kuca-i-kako-funkcionira/216>

Slika 4.3.1.1. Kaširana poliuretanska pjena

Izvor: [www.caparol.hr/fileadmin/data\\_hr/Brošure\\_HR/pasivna\\_kuca\\_sq-FINAL.pdf](http://www.caparol.hr/fileadmin/data_hr/Brošure_HR/pasivna_kuca_sq-FINAL.pdf)

Slika 4.3.2.1. Kamena vuna

Izvor: Autor završnog rada

Slika 4.3.3.1. Ekspandirani polistiren

Izvor: Autor završnog rada

Slika 4.3.4.1. Ekstrudirani polistiren

Izvor: <http://profibaucentar.hr/ponuda/izolacije/termoizolacije/ekstrudirani-polistiren-xps/xps-300/>

Slika 4.4.1. Shema ventilacijskog sustava pasivne kuće [6]

Izvor: Senegačnik Zbašnik, M. (2009) *Pasivna kuća*. Zagreb: Sun arh.

Slika 4.4.1.1. Rekuperator u zimskom režimu rada

Izvor: [http://www.holcim.hr/fileadmin/templates/HR/doc/vlasnik\\_pasivne\\_kuce\\_Hrvoje\\_Koscec.pdf](http://www.holcim.hr/fileadmin/templates/HR/doc/vlasnik_pasivne_kuce_Hrvoje_Koscec.pdf)

Slika 4.4.1.2. Rekuperator u ljetnom režimu rada

Izvor: [http://www.holcim.hr/fileadmin/templates/HR/doc/vlasnik\\_pasivne\\_kuce\\_Hrvoje\\_Koscec.pdf](http://www.holcim.hr/fileadmin/templates/HR/doc/vlasnik_pasivne_kuce_Hrvoje_Koscec.pdf)

Slika 4.4.2.1. Zemni kolektor pasivne kuće u Begovom Razdolju (2007)

Izvor: <http://www.itv-murexin.hr/upload/presentations/P2.pdf>

Slika 4.4.2.2. Zemni kolektor obiteljske kuće „Vilić“ u Buzetu (2009)

Izvor: [http://www.rockwool.hr/files/RW-HR/PDFs%20and%20other%20documents/ROCKWOOL-4.dani\\_pasivne\\_kuce.pdf](http://www.rockwool.hr/files/RW-HR/PDFs%20and%20other%20documents/ROCKWOOL-4.dani_pasivne_kuce.pdf)

Slika 4.4.3.1. Ventilacijski razvod u pasivnoj kući

Izvor: [http://www.holcim.hr/fileadmin/templates/HR/doc/vlasnik\\_pasivne\\_kuce\\_Hrvoje\\_Koscec.pdf](http://www.holcim.hr/fileadmin/templates/HR/doc/vlasnik_pasivne_kuce_Hrvoje_Koscec.pdf)

Slika 4.5.1. Ispitivanje blower door testom

Izvor: <http://www.villa-marienborn.de/blowerdoor-messung-baatherm-koeln/#.WT28LdwlG70>

Slika 4.6.1.1. Profil prozora s trostrukim ostakljenjem

Izvor: <http://www.prismarchitectural.co.uk/news/new-at-135-passive-house-windowa>

Slika 4.6.2.1. Presjek ulaznih vrata i detalj brtvila

Izvor: Senegačnik Zbašnik, M. (2009) *Pasivna kuća*. Zagreb: Sun arh.

Slika 6.1.1. Pasivna kuća u mjestu Brestovje u blizini Zagreba

Izvor: <http://www.itv-murexin.hr/upload/presentations/P2.pdf>

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Antun Šimek (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Karakteristike pasivne kuće (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Antun Šimek

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Antun Šimek (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Karakteristike pasivne kuće (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Antun Šimek

(vlastoručni potpis)